

NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

Patent Number: JP11298090

Publication date: 1999-10-29

Inventor(s): NAGAHAMA SHINICHI; NAKAMURA SHUJI

Applicant(s):: NICHIA CHEM IND LTD

Requested Patent: JP11298090

Application Number: JP19980097134 19980409

Priority Number(s):

IPC Classification: H01S3/18 ; H01L21/205 ; H01L31/10 ; H01L33/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To lower the oscillation threshold by comprising an active layer having a multiple quantum well structure composed of laminated In-containing nitride semiconductor well layers and barrier layers between and p-side nitride semiconductor layers, where the well layers the active layer are not doped but barrier layers are doped with an n-type impurity.

SOLUTION: An active layer 25 has undoped In0.2 Ga0.8 N well layers grown to 40 &angst thickness and Si-doped by $5 \times 10^{18} /cm^3$ In0.01 Ga0.95 N barrier layers grown up to 100 &angst thick at the same temperature. They are laminated in the order of the well, barrier, well, and barrier layers as a multiple quantum well structure of the active layer grown. The number of the well layers is closely related to the threshold current density which lowers most, when the number of well layers is 2, and hence the oscillation threshold can be made to lower.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-298090

(43)公開日 平成11年(1999)10月29日

(51)Int.Cl.⁶

H 01 S 3/18

H 01 L 21/205

31/10

33/00

識別記号

F I

H 01 S 3/18

H 01 L 21/205

33/00

31/10

C

A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O.L (全 8 頁)

(21)出願番号

特願平10-97134

(22)出願日

平成10年(1998)4月9日

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 長濱 優一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

(72)発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

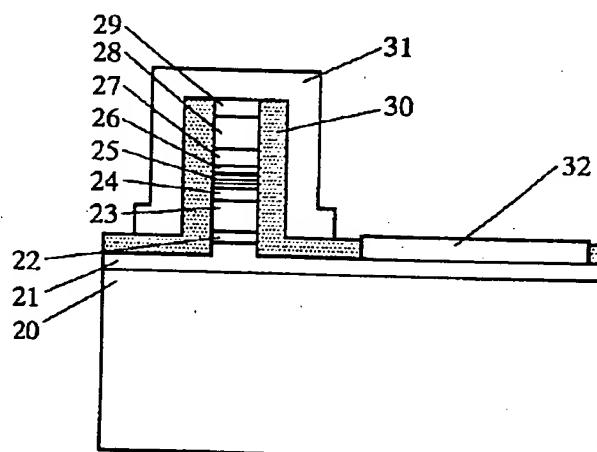
学工業株式会社内

(54)【発明の名称】 穀化物半導体素子

(57)【要約】

【目的】 主としてレーザ素子の出力の向上と、発振閾値を低下させて素子の長寿命化を実現する。

【構成】 n側の窒化物半導体層と、p側の窒化物半導体層との間に、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記活性層の井戸層はアンドープであり、前記障壁層にn型不純物がドープされているか、あるいは、前記多重量子井戸構造は、p側の窒化物半導体に接近した側が障壁層で終わっており、少なくとも最後の井戸層がアンドープで、最後の障壁層にn型不純物がドープされている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 n 側の窒化物半導体層と、 p 側の窒化物半導体層との間に、 In を含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記活性層の井戸層はアンドープであり、前記障壁層に n 型不純物がドープされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 n 側の窒化物半導体層と、 p 側の窒化物半導体層との間に、 In を含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記多重量子井戸構造は、 p 側の窒化物半導体に接近した側が障壁層で終わっており、少なくとも最後の井戸層がアンドープで、最後の障壁層に n 型不純物がドープされていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記 n 側の窒化物半導体層には、活性層に接近した側に In を含む窒化物半導体、若しくは GaN よりなる第1の窒化物半導体層を有し、さらに第1の窒化物半導体層よりも活性層から離れた側に Al を含む窒化物半導体層を含む超格子からなる第2の窒化物半導体層を有することを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記 p 側の窒化物半導体層には、活性層に接近した側に Al を含む窒化物半導体、若しくは GaN よりなる第3の窒化物半導体層を有し、さらに第3の窒化物半導体層よりも活性層から離れた側に Al を含む窒化物半導体層を含む超格子からなる第4の窒化物半導体層を有することを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記 n 側、又は p 側の窒化物半導体層の内の少なくとも一方には、 Al を含む窒化物半導体を含む超格子からなる第5の窒化物半導体層を有し、その第5の窒化物半導体層の Al 含有量が、活性層に接近するにつれて少なくなるようにされていることを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記第5の窒化物半導体層には、その層の導電型を決定する不純物がドープされており、その不純物が活性層に接近するにつれて少なくなるよう調整されていることを特徴とする請求項5に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記障壁層には p 型不純物が不純物拡散により含まれていることを特徴とする請求項1乃至6の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項8】 前記多重量子井戸構造の全井戸層数が2であることを特徴とする請求項1乃至7の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は発光ダイオード素子、レ

ーザダイオード素子等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる窒化物半導体 ($In_xA_{1-x-y}N$, $0 \leq x, y \leq 1$) よりなる素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は高輝度純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上に GaN よりなるバッファ層と、 Si ドープ GaN よりなる n 側コンタクト層と、単一量子井戸構造の $InGaN$ 、あるいは $InGaN$ を有する多重量子井戸構造の活性層と、 Mg ドープ $AlGaN$ よりなる p 側クラッド層と、 Mg ドープ GaN よりなる p 側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

【0003】 また、我々は窒化物半導体基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、世界で初めて室温での連続発振1万時間以上を達成したことを発表した (ICNS'97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-46、及びJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36(1997) pp. L1568-1571, Part2, No. 12A, 1 December 1997)。基本的な構造としては、サファイア基板上に、部分的に形成された SiO_2 膜を介して選択成長された GaN よりなる窒化物半導体基板の上に、レーザ素子構造となる窒化物半導体層が複数積層されてなる。(詳細はJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36参照)

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、1万時間以上の連続発振が推定されたのは、出力で2mWである。2mWでは読み取り用光源としては若干もの足りず、書き込み用光源ではこの10倍以上の出力が必要であり、さらなるレーザ素子の出力向上と長寿命化が望まれている。

【0005】 レーザ素子の発振閾値が低下すれば、レーザ素子の発熱量が小さくなるので、電流値を多くして出力を上げることができる。さらに、閾値が低下すると言うことは、レーザ素子だけでなくLED、SLD等、他の窒化物半導体素子にも適用でき、高効率で信頼性の高い素子を提供できる。従って本発明の目的とするところは、主としてレーザ素子の出力の向上と、発振閾値を低下させて素子の長寿命化を実現することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明の窒化物半導体素子は主として2種類の態様より成り、第1の態様は、 n 側の窒化物半導体層と、 p 側の窒化物半導体層との間

に、 I_n を含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記活性層の井戸層はアンドープであり、前記障壁層に n 型不純物がドープされていることを特徴とする。

【0007】本発明の第2の態様は、 n 側の窒化物半導体層と、 p 側の窒化物半導体層との間に、 I_n を含む窒化物半導体よりなる井戸層と、井戸層と組成の異なる窒化物半導体よりなる障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造の活性層を有し、前記多重量子井戸構造は、 p 側の窒化物半導体に接近した側が障壁層で終わっており、少なくとも最後の井戸層がアンドープで、最後の障壁層に n 型不純物がドープされていることを特徴とする。本発明において n 側の窒化物半導体とは活性層を挟んで、一方の窒化物半導体層に少なくとも n 型窒化物半導体層を含む半導体層側を指し、 p 側の窒化物半導体とは、活性層を挟んで n 側の窒化物半導体と反対側にある窒化物半導体を指すものとする。なお、本発明の第1及び第2の態様において、多重量子井戸構造は井戸層から始まる方が閾値が低下しやすい傾向にある。

【0008】本発明の第1、及び第2の態様において、アンドープ (undope) とは意図的に不純物をドープしない窒化物半導体層を指し、例えば、原料に含まれる不純物の混入、反応装置内のコンタミネーションによる不純物の混入、および意図的に不純物をドープした他の層からの意図しない不純物拡散により、不純物が混入した層も本発明ではアンドープと定義する（実質的なアンドープ）。

【0009】本発明の第1、及び第2の態様において、前記 n 型の窒化物半導体層には、活性層に接近した側に I_n を含む窒化物半導体、若しくは GaN よりなる第1の窒化物半導体層を有し、さらに第1の窒化物半導体層よりも活性層から離れた側に Al を含む窒化物半導体層を含む超格子からなる第2の窒化物半導体層を有することを特徴とする。第1の窒化物半導体層は活性層に接していくても、いなくても良いが、接して形成されていることが望ましい。

【0010】さらに、前記 p 側の窒化物半導体層には、活性層に接近した側に Al を含む窒化物半導体、若しくは GaN よりなる第3の窒化物半導体層を有し、さらに第3の窒化物半導体層よりも活性層から離れた側に Al を含む窒化物半導体層を含む超格子からなる第4の窒化物半導体層を有することを特徴とする。同様に第3の窒化物半導体層も活性層に接していくても、いなくても良いが、接して形成されることが望ましい。

【0011】また本発明の第1、及び第2の態様では、 n 側、又は p 側の窒化物半導体層の内の少なくとも一方には、 Al を含む窒化物半導体を含む超格子からなる第5の窒化物半導体層を有し、その第5の窒化物半導体層の Al 含有量が、活性層に接近するにつれて少なくなる

ようにされていることを特徴とする。これは超格子を G R I N 構造 (gradient index waveguide) とすることを意味する。

【0012】前記第5の窒化物半導体層には、その層の導電型を決定する不純物がドープされており、その不純物が活性層に接近するにつれて少なくなるように調整されていることを特徴とする。

【0013】前記障壁層には p 型不純物が不純物拡散により含まれていることを特徴とする。不純物拡散とは例えば隣接、近接（必ずしも接していないても良い）した p 型不純物を含む層の成長中、あるいは成長後、その層から障壁層に p 型不純物が拡散して混入した状態を指す。一例として不純物拡散により p 型不純物が含まれる場合、その層には p 型不純物の濃度勾配がついていることが多い。拡散により混入する不純物としては Mg 、 B 、 Ca のような窒化物半導体にドープされて p 型となることが確認されている不純物であることが多い。また n 型不純物よりも少量であることが多い。

【0014】また本発明では、多重量子井戸構造の全井戸層数が2であることを特徴とする。井戸数を2とすると最も閾値が低下しやすい。即ち n 側から、障壁+井戸+障壁+井戸+障壁、井戸+障壁+井戸+障壁、井戸+障壁+井戸（但し、井戸で終わる構成は第1の態様のみに適用）を積層した多重量子井戸構造とすることが最も好ましい。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、基本構成としては、 GaN 基板20の上に、 n 側コンタクト層21、クラック防止層（省略可能）22、 n 側クラッド層23、 n 側光ガイド層24、多重量子井戸構造の活性層25、 p 側キャップ層26、 p 側ガイド層27、 p 側クラッド層28、 p 側コンタクト層29とが順に積層された構造を有し、 p 側コンタクト層29から n 側コンタクト層21までがエッティングされ、ストライプ状の導波路領域を有する屈折率導波型のレーザ素子を示している。

【0016】多重量子井戸構造よりなる活性層25において、井戸層は少なくとも I_n を含む窒化物半導体、好ましくは $I_{n_x}G_{a_{1-x}}N$ ($0 < x < 1$) とする。一方、障壁層は通常、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体を選択し、好ましくは $I_{n_y}G_{a_{1-y}}N$ ($0 \leq y < 1$, $x > y$) 若しくは $A_{1-z}G_{a_{z-n}}N$ ($0 < z < 0.5$) とする。但し井戸層、障壁層を $InAlN$ とすることも可能である。井戸層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下に調整する。100オングストロームよりも厚いと、出力が低下する傾向にある。障壁層の膜厚は特に限定しないが、通常は井戸層と同じか、若しくは井戸層よりも厚く形成し、200オングストローム以下、好ましくは15

0オングストローム以下、最も好ましくは100オングストローム以下にする。また障壁層の膜厚を井戸層よりも薄くしてもよい。

【0017】本発明の第1の態様では、活性層25の井戸層をアンドープ（意図的に不純物をドープしない状態）として、障壁層にn型不純物のみがドープされる。障壁層にn型不純物がドープされると井戸層のキャリア濃度が大きくなるため、閾値が低下する。逆に障壁層に意図してp型不純物をドープすると低下しにくい傾向にある。そのため、障壁層にはn型不純物のみをドープすることが望ましい。さらにまた、障壁層にn型不純物をドープすると井戸層のキャリア濃度が大きくなるため、歪みによるピエゾ効果の量子シタルク効果による電子と正孔の空間的分離がスクリーニングされて、閾値が低下すると推察される。逆に井戸層に不純物をドープすると結晶性が悪くなつて、キャリアの散乱が大きくなり、閾値が高くなる傾向にある。なお本発明の第1の態様では、多重量子井戸構造は、p側の窒化物半導体層に接近した側が障壁層で終わっても井戸層で終わっても良いが、第2の態様のように障壁層で終わることが望ましい。

【0018】一方、第2の態様では、活性層25がp側窒化物半導体に接近した側が障壁層で終わっており、少なくとも最後の井戸層がアンドープで、最後の障壁層にn型不純物がドープされている。即ち、井戸+障壁+井戸+障壁、若しくは障壁+井戸+障壁+井戸+障壁となるようにn側の窒化物半導体から積層して行き、最後の井戸層をアンドープとし、そして最後の障壁層にn型不純物をドープする。それ以外の井戸層、障壁層には不純物をドープしても、しなくても良く、不純物ドープについては特に問わない。好ましくは第1の態様のように、障壁層にn型不純物をドープして、井戸層はアンドープとすることが望ましい。第2の態様においては多重量子井戸構造は井戸層で終わるよりも、障壁層で終わった方が閾値が低下しやすい傾向にあり、さらに最後の井戸層をアンドープ、障壁層にn型不純物をドープすると、さらに閾値が低下する。この理由は定かではないが、窒化物半導体の場合、ホールの有効質量が大きく、活性層に注入されたホールはp層側に局在しており、p層側の井戸層のみで発光すると考えられる。従つてn層側に接近した井戸層は発光にあまり寄与しておらず、p層側に接近した井戸層の方が発光に寄与する率が高い。このためp層側に最も接近した井戸層をアンドープとして、障壁層にn型不純物をドープすると最も効率が向上すると推察される。

【0019】障壁層にドープするn型不純物にはSi、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等のIV族、若しくはVI族元素を用いることができ、好ましくはSi、Ge、Snを用いる。n型不純物のドープ量は $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ～ $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ～ $1 \times$

$10^{20}/\text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ～ $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ よりも少ないと閾値があまり低下せず、一方、 $5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ よりも多いと障壁層の結晶性が悪くなつて、寿命が短くなる。

【0020】また本発明の第1、及び第2の態様では、活性層25に接近した側にInを含む窒化物半導体、若しくはGaNよりなる第1の窒化物半導体層を有し、さらに第1の窒化物半導体層よりも活性層から離れた側にAlを含む窒化物半導体層を含む超格子からなる第2の窒化物半導体層を有している。図1の場合、n側光ガイド層24が第1の窒化物半導体層に相当する。この層を設けることにより、例えばレーザ素子では導波路領域を形成する層として作用し、また他の素子においては、活性層を成長させる前のバッファ層として作用し、結晶性の良い活性層を成長させやすくする。

【0021】さらに図1の場合、超格子より成るn側クラッド層23が第2の窒化物半導体層に相当する。この層はキャリア閉じ込め、光閉じ込めのためのクラッド層として作用する。超格子とは、互いに組成の異なる窒化物半導体の薄膜を積層した多層膜層のことである。超格子を形成する場合、一方の窒化物半導体はAlを含む窒化物半導体、好ましくは三元混晶の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$) とすると結晶性の良いものが得られやすい。もう一方は前記Alを含む窒化物半導体と組成が異なればどのようなものでもよいが、好ましくはその窒化物半導体よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体として、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 1$) を選択する。その中でもGaNとすると最も結晶性が良くなる。

30 即ち、超格子層はAlGaNとGaNとで構成すると、結晶性の良いGaNがバッファ層のような作用をして、AlGaNを結晶性良く成長できる。超格子層の単一膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下にする。このように薄膜を成長させることにより窒化物半導体が弹性臨界膜厚以下となるために、AlGaNのような結晶中にクラックの入りやすい結晶でも、クラックが入ることなく膜質良く成長できる。また超格子層にはInAIN、InGaN等を形成することもできる。

【0022】また本発明の第1、及び第2の態様では、活性層25に接近した側にAlを含む窒化物半導体、若しくはGaNよりなる第3の窒化物半導体層を有し、さらに第3の窒化物半導体層よりも活性層から離れた側にAlを含む窒化物半導体層を含む超格子からなる第4の窒化物半導体層を有している。図1の場合、p側キャップ層26、若しくはp側光ガイド層27が第3の窒化物半導体層に相当し、超格子よりなるp側クラッド層28が第4の窒化物半導体に相当する。p側キャップ層26は活性層の障壁層よりも大きなバンドギャップエネルギー

一を有する窒化物半導体として、その膜厚を0.1μmよりも薄くすることにより、出力が向上する傾向にある。またp側光ガイド層27は、p側キップ層よりもバンドギャップエネルギーを小さくすることにより、例えばレーザ素子では導波路領域を形成する層として作用し、また他の素子においては、p側クラッド層28を成長させる前のバッファ層として作用し、結晶性の良いクラッド層を成長させやすくする。

【0023】さらに図1の場合、超格子より成るp側クラッド層28が第4の窒化物半導体層に相当する。この層の作用、好ましい構成はn側クラッド層と全く同じであるので説明は省略する。

【0024】さらに、本発明ではn側クラッド層23、p側クラッド層29を超格子のGRIN構造とすることもできる。GRIN構造とすると、活性層の発光はAl組成の少ない領域で導波されて、縦モードが单一モードになりやすくなつて閾値が低下する。一般にダブルヘテロ構造のクラッド層は、活性層よりもバンドギャップエネルギーを大きくする必要があるので、窒化物半導体素子のクラッド層には、例えばAlGaNのような、Alを含有する窒化物半導体が用いられる。さらにGRIN構造とすると、Al混晶比の大きい層は最外層、つまり活性層から最も離れた層だけで良く、活性層に接近するに従って、Al混晶比が小さくなっているため、最外層にAl混晶比の大きい層を形成しやすくなる。そのため、クラッド層と活性層との屈折率差を大きくできるので、光閉じ込め効果が大きくなつて、閾値が低下する。また屈折率が中心（活性層）から外側に向かって徐々に小さくなっているGRIN構造では、光が中心に集まりやすくなるため閾値が低下する。なおn側クラッド層をGRIN構造とする場合には、クラッド層の活性層側が導波路領域を形成するので、n側光ガイド層24、p側光ガイド層28は省略しても良い。

【0025】さらにまたn側クラッド層23、p側クラッド層28を超格子のGRIN構造とする場合、そのクラッド層に含まれるn型不純物濃度、p型不純物濃度の少なくとも一方を活性層に接近するに従って、少なくなるように調整することが望ましい。不純物はAlを含む第1の窒化物半導体層、もう一方の窒化物半導体層に両方ドープしても良いが、好ましくはいずれか一方にドープすることが望ましい。これは変調ドープと呼ばれるもので、超格子層のいずれか一方の層に不純物をドープすることにより、超格子層全体の結晶性が良くなり、これも信頼性の高い素子を実現するのに効果的である。つまり、不純物をドープしない結晶性の良い層の上に不純物をドープした層を成長させると、不純物をドープした層の結晶性が向上するため、超格子層全体としての結晶性が良くなることによる。n型不純物としては、Si、Ge、Snを好ましく用いる。p型不純物としてはMg、Be、Caを好ましく用いる。このようにクラッド層を

超格子として、その超格子に含まれるドナー、アクセプター濃度を次第に小さくすると、クラッド層による活性層近傍の光吸収が少なくなるので、光損失が低下して閾値が低下する。さらに不純物濃度の少ない窒化物半導体、不純物濃度の大きい窒化物半導体に比較して結晶性がよい。そのため不純物濃度の少ない結晶性の良いn、p両クラッド層で活性層を挟んだ構造とすると、結晶欠陥の少ない活性層が成長できるために、素子の寿命も長くなり、信頼性が向上すると共に、素子の耐圧も高くなる。

【0026】GRIN構造の場合、不純物濃度としてはn型不純物の場合、n側クラッド層の最外層で $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ の範囲に調整する。また活性層近傍、例えば超格子層の低不純部濃度領域0.3μm以下では、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下に調整する。一方、p型不純物の場合、p側クラッド層の最外層で $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の範囲に調整する。また活性層近傍、例えば超格子層の低不純部濃度領域0.3μm以下では、 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下に調整する。最外層の不純物濃度よりもむしろ、低不純物濃度層の方が重要であり、活性層に接近した側の不純物濃度が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ よりも多いと、光吸収が多くなり、閾値が低下しにくくなる傾向にある。また、不純物濃度を多くしたことによる結晶性の低下により、寿命が短くなる傾向にある。最も好ましくは不純物を意図的にドープしない状態、即ちアンドープとする。

【0027】

【実施例】【実施例1】（第1の態様、第2の態様）以下、図1を元に本発明を詳説するが、実施例1は第1、第2両方の態様を示している。

【0028】（GaN基板20）2インチφのサファイアよりなる異種基板の上に成長させたGaNの上に、ストライプ状のSiO₂からなる保護膜を形成し、このストライプ状の保護膜の上にMOVPE法を用いてアンドープGaN層を10μmの膜厚で成長させ、その後HVP法により同じくアンドープGaN層を300μmの膜厚で成長させる。成長後、サファイア基板と、保護膜、MOVPEで成長させたGaN層を研磨して除去し、TEMによる断面観察で表面近傍の結晶欠陥が $1 \times 10^5/\text{cm}^2$ 以下のGaN基板20を得る。研磨の他、サファイアとGaN基板とを分離する手段として、研磨したサファイア基板裏面側から高出力のエキシマレーザを、スポット100μmφ程度の大きさで照射して走査することにより、GaNの界面のGaNを変質させて分離する方法があるが、この方法を用いても良い。

【0029】（n側コンタクト層21）次にGaN基板（研磨側と反対側の面）の上に、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$

³ドープしたGaNよりなるn側コンタクト層5を4μmの膜厚で成長させる。なおn側コンタクト層21～p側コンタクト層29までは全てMOVPE法で積層成長している。

【0030】(クラック防止層22)次に、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.06}Ga_{0.94}Nよりなるクラック防止層22を0.15μmの膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

【0031】(n側クラッド層23=超格子層)続いて、アンドープAl_{0.16}Ga_{0.84}Nよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてTMAを止めて、シランガスを流し、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させる。それらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚1.2μmの超格子よりなるn側クラッド層23を成長させる。このように超格子は、一方をA1を含む窒化物半導体で構成し、もう一方はそれよりもバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体で構成し、いずれか一方の層に不純物をドープするいわゆる変調ドープを行うことが望ましい。

【0032】(n側光ガイド層24)続いて、アンドープGaNよりなるn側光ガイド層24を0.1μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層24にSi、Ge、Sn等のn型不純物をドープしても良い。

【0033】(活性層25)次に、アンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同一温度で、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。このように井戸+障壁+井戸+障壁の順に積層し、総膜厚280オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。なおこの活性層の最後の障壁層には、隣接するp側キャップ層から拡散したのか、Mgが $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 含まれていた。

【0034】(p側キャップ層26)次に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp側キャップ層26を150オングストロームの膜厚で成長させる。このp型キャップ層は0.1μm以下の膜厚で形成することにより素子の出力が向上する傾向にある。膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。このキャップ層も省略可能である。

【0035】(p側光ガイド層27)次にMgを $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるp側光ガイド層27を0.1μmの膜厚で成長させる。

【0036】(p側クラッド層28)続いて、アンドープAl_{0.16}Ga_{0.84}Nよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてMgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる層を25オングストロームの膜厚で成長させ、それらを交互に積層し、総膜厚0.7μ

mの超格子層よりなるp側クラッド層28を成長させる。

【0037】(p側コンタクト層29)最後に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層29を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0038】このようにして成長させたウェーハをMOVPE反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面に、CVD装置を用いてSiO₂よりなるスト

10 ライブ幅1.5μmのマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッ칭)装置を用いて図1に示すように、n側コンタクト層21の表面が露出するまでエッ칭を行う。そして露出したn側コンタクト層21の表面にTi/A1よりなるn電極32を形成する。

【0039】n電極形成後、p側コンタクト層29の表面にSiO₂マスクをつけたまま、n電極の表面に同じくSiO₂マスクを形成し、図1に示すようにエッチングされて露出したストライプ状の窒化物半導体層の側面にZrO₂よりなる絶縁膜30を形成する。

20 【0040】絶縁膜30形成後、リフトオフ法によりSiO₂マスクを除去した後、その絶縁膜30を介してp側コンタクト層29の表面にNi/Auよりなるp電極31を形成する。

【0041】電極形成後、GaN基板をM面(11-00)で劈開して対向する劈開面を共振面としてレーザ素子を作製したところ、閾値電流密度1.2kA/cm²で連続発振を示し、20mW出力において2000時間以上の連続発振を示した。

30 【0042】さらに、このレーザ素子の活性層25において、井戸層の数を変えた際のレーザ素子の閾値電流密度の関係を図2に示す。図2において、井戸層の数1は單一量子井戸を示しており、後は井戸層を障壁層で挟んだ多重量子井戸構造を示している。この図に示すように井戸層の数と、閾値電流密度とは密接な関係にあり、井戸層の数2が最も閾値電流密度が低下することが分かる。

【0043】[実施例2] (第2の態様)
実施例1において活性層25を成長させる際にSiを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる40 障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同一温度で、Siを 1×10^{18} ドープしたIn_{0.2}Ga_{0.8}N井戸層を40オングストロームの膜厚で成長させる。そしてSiドープ障壁+Siドープ井戸+Siドープ障壁を積層した後、最後の井戸層をアンドープとし、続いて最後のSiドープ障壁層を成長させ、総膜厚380オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)とする。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1に比較して若干、閾値電流密度は上昇したが、同じく20mW出力において、2000時間以上の寿命を示した。

【0044】 [実施例3] 図3は本発明の実施例3に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下の図を元に、実施例3について説明する。

【0045】 (GaN 基板20') 2インチのサファイアよりなる異種基板の上に成長させた GaN の上に、ストライプ状の SiO_2 からなる保護膜を形成し、このストライプ状の保護膜の上にMOVPE法を用いてアンドープ GaN 層を $10\mu m$ の膜厚で成長させ、その後HVPE法により Si を $1 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした GaN 層を $300\mu m$ の膜厚で成長させる。成長後、サファイア基板と、保護膜、アンドープ GaN 層を研磨して除去し、 Si をドープした GaN 基板を得る。

【0046】 (クラック防止層22) 次に、実施例1と同様にして、 Si を $5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした $In_{0.06}Ga_{0.94}N$ よりなるクラック防止層22を $0.2\mu m$ の膜厚で成長させる。

【0047】 (n 側クラッド層23') =超格子GRIN構造) 次に1回目に Si を $5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした GaN 層を25オングストローム成長させ、続いてアンドープ $Al_{0.30}Ga_{0.70}N$ 層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして2回目に、 Si 含有ガスの量を若干少なくして GaN 層を25オングストローム成長させ、続いて Al 含有ガスの量を若干少なくして、アンドープで、およそ $Al_{0.29}Ga_{0.71}N$ 層を25オングストロームの膜厚で成長させる。 $Al_{0.29}Ga_{0.71}N$ の混晶比は正確な値ではない。3回目以降は、 GaN 層の先に成長させた GaN よりも Si ガス量をさらに少なくして、 Si ドープ GaN 層を成長させて、続いて先に成長させた $AlGaN$ よりも Al 含有量がさらに少ないアンドープ $AlGaN$ 層を成長させる。このようにして、 Si の含有量が活性層に接近するに従って、徐々に少なくなつて行く Si ドープ GaN 層と、アンドープ $Al_xG_{1-x}N$ 層とを合わせて $1.2\mu m$ (240ペア)成長させた後、 Si 含有ガスを止め、アンドープ GaN 層を25オングストローム、先に成長させた $AlGaN$ よりもさらに Al 含有量が少ないアンドープ $AlGaN$ を25オングストローム成長させる。そして $AlGaN$ の組成のみを変化させながら、 $0.1\mu m$ (20ペア)の膜厚で最後がアンドープ GaN と、アンドープ GaN となるように成長させることにより、 Al 含有量が次第に少なくなつて行く $AlGaN$ と、 Si 含有量が次第に少なくなつて行く GaN とからなる超格子構造の n 側クラッド層23'を $1.3\mu m$ の膜厚で成長させる。なお、 n 型不純物量は GaN の方で調整したが、 $AlGaN$ 層の方で調整することもできる。また $AlGaN$ の Al 組成比は細分化して次第に少なくなるように調整したが、例えば、3段階ぐらいで大まかにステップ状に大きくなることもでき、本発明の範囲内である。

【0048】 (活性層25) 実施例1と同様にして、40オングストロームの $In_{0.2}Ga_{0.8}N$ よりなる井戸層

と、100オングストロームの Si を $5 \times 10^{18}/cm^3$ ドープした $In_{0.01}Ga_{0.99}N$ よりなる障壁層とを、井戸+障壁+井戸+障壁の順に積層した総膜厚280オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。また活性層25と n 側クラッド層23'との間に実施例1と同様にして n 側光ガイド層を形成しても良い。

【0049】 (p 側クラッド層28') 次に1回目にアンドープ GaN 層を25オングストローム成長させ、続いて Al 含有ガスをわずかに流して Al を極微量含有した $AlGaN$ 層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして2回目に、同じくアンドープ GaN を25オングストローム成長させ、続いて Al 含有ガスの量を若干多くして $AlGaN$ を25オングストローム成長させる。3回目以降は、先に成長させた $AlGaN$ よりも Al 含有量が若干多いアンドープ $AlGaN$ 層を成長させる。このようにして、アンドープ GaN 層25オングストロームと、 Al 含有量が若干ではあるが次第に多くなつて行くアンドープ $AlGaN$ 層25オングストロームとを交互に積層し、500オングストローム(10ペア)成長させる。10ペア成長後、続いて、 Mg 含有ガスをわずかに流して、 Mg を極微量ドープした Mg ドープ GaN 層を25オングストローム成長させ、続いて先に成長させたアンドープ $AlGaN$ 層よりも Al 含有量が多い $AlGaN$ 層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次に、活性層から離れるに従って、 Mg の量が徐々に多くなつて行く Mg ドープ GaN 層25オングストロームと、同じく活性層から離れるに従って Al の量が次第に多くなつて行くアンドープ $Al_xG_{1-x}N$ 層25オングストロームとを交互に積層して、最後に Mg を $8 \times 10^{19}/cm^3$ ドープした GaN 層を成長させ、その次にアンドープ $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 層を成長させ、合計で $0.75\mu m$ (150ペア)成長させる。このようにして、活性層から離れるに従って、 Mg 含有量が次第に多くなつて行く GaN 層と、 Al 含有量が次第に多くなつて行く $AlGaN$ 層とからなる超格子構造の p 側クラッド層10を $0.8\mu m$ の膜厚で成長させる。同様に、 p 型不純物量は GaN の方で調整したが、 $AlGaN$ 層の方で調整することもできる。また $AlGaN$ の Al 組成比は細分化して次第に大きくなるように調整したが、例えば、3段階ぐらいで大まかにステップ状に大きくなることもでき、本発明の範囲内である。また、活性層25と p 側クラッド層28'との間に、実施例1と同様にして、 p 側キャップ層26、 p 側光ガイド層27を形成しても良い。

【0050】 (p 側コンタクト層29) 次に、実施例1と同様にして、 Mg を $1 \times 10^{20}/cm^3$ ドープした p 型 GaN よりなる p 側コンタクト層29を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0051】 このようにして成長させたウェーハをMO

VPE反応容器から取り出し、CVD装置を用いてSiO₂よりなるストライプ幅1.5μmのマスクを形成し、RIEにより、図3に示すように、GaN基板20'の表面が露出するまでエッティングを行う。そして、p側コンタクト層29の表面にSiO₂マスクをつけたまま、n電極の表面と同じくSiO₂マスクを形成し、図1に示すようにエッティングされて露出したストライプ状の窒化物半導体層の側面にZrO₂よりなる絶縁膜30を形成する。

【0052】絶縁膜30形成後、図3に示すようにGaN基板20'の裏面にTi/AIよりなるn電極32を形成し、GaN基板をM面（11-00=六角柱の側面に相当する面）で劈開して対向する劈開面を共振面としてレーザ素子を作製したところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。なお図1のレーザ素子も図3と同じくn電極をGaN基板裏面側に設ける構造とできることは言うまでもない。

【0053】【実施例4】実施例3において、n側クラッド層23'成長時に超格子構造のGaN層全てにSiを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープする。また、p側クラッド層28'成長時に超格子構造のGaN層全てにMgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープする他は同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例3に比較して閾値電流密度は若干上昇したが、同じく20mW出力において、2000時間以上の寿命を示した。

【0054】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の第1の態様、第2の態様では活性層の井戸層をアンドープとして、障壁層にのみn型不純物をドープするか、少なくと

もp層側の最後の井戸層をアンドープ、障壁層にn型不純物をドープすることにより、閾値電流密度が低く、長寿命なレーザ素子を作製することができる。このような多重量子井戸構造を有する活性層はレーザ素子だけでなく、LED、スーパーバルミネッセントダイオードのような発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子にも適用でき、その産業上の利用価値は非常に大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係るレーザ素子構造を示す模式断面図。

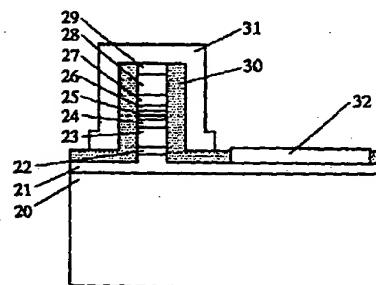
【図2】 活性層の井戸層の数と、レーザ素子の閾値電流密度との関係を示す図。

【図3】 本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

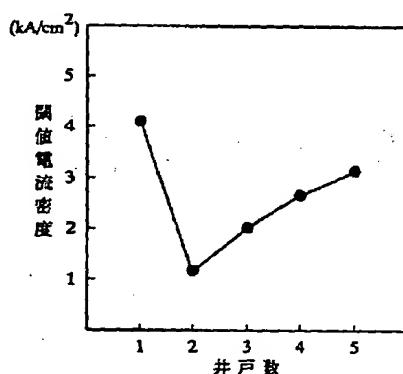
【符号の説明】

- 20, 20' ... GaN基板
- 21 ... n側コンタクト層
- 22 ... クラック防止層
- 23, 23' ... n側クラッド層
- 24 ... n側光ガイド層
- 25 ... 活性層
- 26 ... p側キャップ層
- 27 ... p側光ガイド層
- 28, 28' ... p側クラッド層
- 29 ... p側コンタクト層
- 30 ... 絶縁膜
- 31 ... p電極
- 32 ... n電極

【図1】



【図2】



【図3】

